

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In the application of:

Nobuhiro OHKUBO et al.

Serial No.: New Application

Filing Date: February 26, 2004

For: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE  
AND MANUFACTURING METHOD  
THEREOF

Examiner: Not Yet Assigned

Group Art Unit: Not Yet Assigned

**SUBMISSION OF CERTIFIED FOREIGN PRIORITY DOCUMENTS**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119, Applicants claim the benefit of the filing of Japanese patent application Nos. 2003-049117 filed February 26, 2003.

The certified priority document is attached to perfect Applicant's claim for priority.

It is respectfully requested that the receipt of the certified copy attached hereto be acknowledged in this application.

In the event that the transmittal letter is separated from this document and the Patent and Trademark Office determines that an extension and/or other relief is required,

applicants petition for any required relief including extensions of time and authorize the Commissioner to charge the cost of such petitions and/or other fees due in connection with the filing of this document to **Deposit Account No. 03-1952** referencing **204552031400**.

Dated: February 26, 2004

Respectfully submitted,

By: 

Barry E. Bretschneider  
Registration No. 28,055

Morrison & Foerster LLP  
1650 Tysons Boulevard, Suite 300  
McLean, Virginia 22102  
Telephone: (703) 760-7743  
Facsimile: (703) 760-7777

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   2 月 2 6 日  
Date of Application:

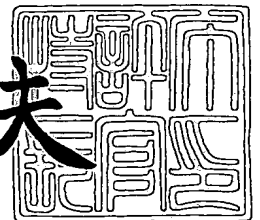
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 4 9 1 1 7  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 0 4 9 1 1 7 ]

出   願   人            シャープ株式会社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月   1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 186444

【提出日】 平成15年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18  
H01S 5/16

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 大久保 伸洋

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 國政 文枝

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 葆

【選任した代理人】

【識別番号】 100086405

【弁理士】

【氏名又は名称】 河宮 治

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100084146

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 山崎 宏

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208766

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上方に、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層を有し、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長が、レーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくされている、 $\text{AlGaInP}$ 系材料からなる半導体レーザ素子において、  
該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に  $\text{As}$  原子が含まれていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層での  $\text{As}$  原子濃度が、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層での  $\text{As}$  原子濃度より高濃度存在することを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層での  $\text{As}$  原子濃度が、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下であることを特徴とする、請求項 1 又は請求項 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子が、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子であることを特徴とする、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】 レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子が、 $\text{P}$  原子の質量数より小さい質量数となる  $\text{II}$  族原子であることを特徴とする請求項 4 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】  $\text{P}$  原子の質量数より小さい質量数となる  $\text{II}$  族原子が、 $\text{Be}$  原子であることを特徴とする、請求項 5 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子濃度が、 $1 \times$

$1.018 \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】 レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層上方に、第二導電型の GaAs コンタクト層が配置されており、且つ、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層と第二導電型の GaAs コンタクト層の間に第二導電型の GaInP 中間層が配置されていることを特徴とする、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】 レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層の上方に、第一導電型の GaAs 電流非注入層が配置されていることを特徴とする、請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 10】 半導体基板上方に、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層を含む、AlGaInP 系材料からなる積層構造を成長させる工程、

レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に As 原子を拡散させる工程、

レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程を含むことを特徴とする、半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 11】 レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に As 原子を拡散させる工程は、

ウエハのレーザ共振器端面近傍領域にイオン化された As 原子を照射する工程と、

該ウエハを加熱する工程を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 12】 ウエハを加熱する工程が、第一導電型の電流ブロック層を形成する工程で兼ねられていることを特徴とする、請求項 11 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 13】 ウエハを加熱する工程が、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層の上方に、第一導電型のGaAs電流非注入層を形成する工程で兼ねられていることを特徴とする、請求項 11 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 14】 該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程が、第二導電型のGaAsコンタクト層を形成する工程で兼ねられていることを特徴とする、請求項 10 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 15】 該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程が、分子線エピタキシー（MBE）法を用いることによって行われることを特徴とする、請求項 10 又は請求項 14 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光ディスク用などに用いられる半導体レーザ素子及びその製造方法に関するものであり、特に高出力動作の特性に優れた窓構造半導体レーザ素子及びその製造方法に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年、光ディスク装置用光源として、各種の半導体レーザが広汎に利用されている。とりわけ、高出力半導体レーザは、DVDプレーヤ、DVD-RAMドライブ等のディスクへの書き込み用光源として用いられており、さらなる高出力化が強く求められている。

#### 【0003】



半導体レーザの高出力化を制限している要因の一つは、レーザ共振器端面近傍の活性層領域での光出力密度の増加に伴い発生する光学損傷（COD；Catastrophic Optical Damage）である。

#### 【0004】

前記CODの発生原因は、レーザ共振器端面近傍の活性層領域がレーザ光に対する吸収領域になっているためである。レーザ共振器端面では、表面準位または界面準位といわれる非発光再結合中心が多く存在する。レーザ共振器端面近傍の活性層に注入されたキャリアはこの非発光再結合によって失われるので、レーザ共振器端面近傍の活性層の注入キャリア密度は中央部に比べて少ない。その結果、中央部の高い注入キャリア密度によって作られるレーザ光の波長に対して、レーザ共振器端面近傍の活性層領域は吸収領域になる。

#### 【0005】

光出力密度が高くなると吸収領域での局所的発熱が大きくなり、温度が上がってバンドギャップエネルギーが縮小する。その結果、更に吸収係数が大きくなって温度上昇する、という正帰還がかかり、レーザ共振器端面近傍の吸収領域の温度はついに融点にまで達し、CODが発生する。

#### 【0006】

前記CODレベルの向上のために、半導体レーザの高出力化の一つの方法として、特開平3-208388号公報（特許文献1）に記載されている、活性層の無秩序化による窓構造を利用する手法がとられてきた。

#### 【0007】

この窓構造を有する半導体レーザの従来技術として、特開平3-208388号公報に記載されている半導体レーザ素子の構造図を図8に示す。

図8において、図8（a）は励起領域（活性領域）における半導体レーザの断面図であり、図8（b）は不純物拡散領域（窓領域）における半導体レーザの断面図である。

#### 【0008】

また、1001はn型GaAs基板、1002はn型GaAsバッファ層、1003はn型AlGaInPクラッド層、1004はアンドープGaInP活

性層、1005はp型AlGaInPインナークラッド層、1006はp型AlGaInPアウトークラッド層、1007はp型GaAsキャップ層、1008はn型GaAsブロック層、1009はp型GaAsコンタクト層、1011はp側電極、1012はn側電極である。

#### 【0009】

次に前記従来の半導体レーザ素子の製造方法を図9に示す工程図を参照して説明する。

#### 【0010】

n型GaAs基板1001上に、MOVPE法を用いて、n型GaAsバッファ層1002、n型AlGaInPクラッド層1003、アンドープGaInP活性層1004、p型AlGaInPインナークラッド層1005、p型GaInPエッチングストップ層、p型AlGaInPアウトークラッド層1006、p型GaInPヘテロバリア層、p型GaAsキャップ層1007を成長温度660℃で順次形成する。前記p型導電性を有する各層1005～1007では、p型不純物としてZn原子がドーピングされている。

#### 【0011】

次に、図9(a)に示すようにp型GaAsキャップ層1007上に誘電体膜1013を蒸着し、フォトリソグラフィー法を用いてストライプ状にパターンニングした後に、不純物拡散源としてZnAs<sub>2</sub>を用いた、封管拡散法でZn不純物を拡散した。これにより、不純物拡散領域のアンドープGaInP活性層1004に高濃度のZn原子が拡散し、該活性層のバンドギャップエネルギーが増大する。

#### 【0012】

次に、図9(b)に示すように該誘電体膜1013及びp型GaAsキャップ層1007の上に再びフォトリソグラフィー法でレジストストライプマスク1014を形成した後、図9(c)に示すように誘電体膜1013、p型GaAsキャップ層1007、p型GaInPヘテロバリア層、p型AlGaInPアウトークラッド層1006を順次化学的エッチング処理で除去し、リッジを形成する。

## 【0013】

次に、図9（d）に示すように該レジストストライプマスク1014を除去した後、誘電体膜1013をマスクとしてn型GaAsブロック層1008をMOVPE法を用いて成長温度660℃で選択成長した。これにより、リッジの外側の領域及び不純物拡散領域の上にn型GaAsブロック層が形成され、該領域への電流注入が阻止される。

## 【0014】

次に、誘電体膜1013を除去し、MOVPE法を用いて成長温度660℃でp型GaAsコンタクト層1009を形成した後、p型電極1011／n型電極1012を形成し、その後ウエハをへき開して、図8の半導体レーザ素子を得る。なお本発明においては、「ウエハ」とは、基板を含めその上に形成される各層製造工程を経て形成された積層構成体全体をいう。

## 【0015】

## 【特許文献1】

特開平3-208388号公報

## 【0016】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来の窓構造半導体レーザ素子では、不純物拡散領域（窓領域）において、レーザ発振波長に相当するバンドギャップエネルギーよりも大きくなるように、AlGaInP系材料における拡散定数が比較的大きいZn原子を含む、ZnAs<sub>2</sub>を不純物拡散源として用いた、封管拡散法により、アンドープGaInP活性層1004へのZn原子の拡散を行っている。

## 【0017】

しかしながら、上記従来方法では、AlGaInP系材料における拡散定数が比較的大きいZn原子を、励起領域（活性領域）の1005～1007の各層に第二導電性を有する不純物原子として用い、且つ、不純物拡散領域（窓領域）ではアンドープGaInP活性層1004へ拡散させる不純物原子として用いている。

## 【0018】

その結果、レーザ共振器端面近傍に形成された窓領域に光出射端面近傍の活性層のバンドギャップエネルギーをレーザ発振波長に相当するバンドギャップエネルギーよりも大きくなるように、不純物拡散領域（窓領域）において、前記アンドープGaInP活性層1004へのZn原子の拡散を行うと、励起領域（活性領域）においても、p型AlGaInPインナークラッド層1005に存在する、第二導電性を有する不純物原子であるZn原子が、アンドープGaInP活性層1004へ大量に拡散するので、高出力時の駆動電流の上昇と長期信頼性の低下を招いてしまう。

#### 【0019】

また、励起領域（活性領域）のアンドープGaInP活性層1004に、第二導電性を有する不純物原子であるZn原子が拡散しないような条件での、前記拡散を行えば、不純物拡散領域（窓領域）でのアンドープGaInP活性層1004へのZn原子の拡散が不十分となり、共振器端面近傍領域において、レーザ光を吸収してしまう。

#### 【0020】

その結果、光出射端面近傍の活性層領域でCODが発生しやすくなり、高出力駆動時の最大光出力の低下を引き起こし、十分な長期信頼性が得られない。

#### 【0021】

本発明は、上記の問題について検討した結果、高出力時の駆動電流を低減し、且つ、長期信頼性に優れた半導体レーザ素子及びその製造方法を提供するものである。

#### 【0022】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の半導体レーザ素子は、半導体基板上方に、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層を有し、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長が、レーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくされている、AlGaInP系材料からなる半導体レーザ素子において、

該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にはAs原子が含まれている構成としている。

#### 【0023】

上記構成とすることにより、レーザ共振器内部領域の第二導電性を有する不純物原子が活性層へ拡散しないように、ウェハへの加熱温度の低温化や加熱時間の短縮を行っても、レーザ共振器端面近傍領域において、第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を加速的に拡散させることができるので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層の無秩序化が可能となり、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層（窓領域）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域）のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さく出来る。その結果、レーザ光の波長に対する吸収領域がレーザ共振器端面近傍には形成されないので、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

#### 【0024】

本発明において、AlGaInP系材料とは、 $Ga_yIn_zP$ （ $y, z$ は0以上1以下）、 $Al_xGa_yIn_zP$ （ $x, y, z$ は0以上1以下）を意味するものである。そして本発明のクラッド層、活性層は、AlGaInP系材料を適宜使用して構成されている。

#### 【0025】

本発明レーザー素子に使用される半導体基板は、GaAs, InP等のIII-V族化合物半導体基板であり、AlGaInP系材料との格子整合のし易さからGaAsが好ましい。

また、本明細書において、第一導電型とは、上記基板と活性層との間に形成されるn型またはp型の導電型を意味している。第二導電型とは、活性層上基板とは反対側に形成されるn型またはp型の導電型を意味している。第一導電型がn型である場合は、第二導電型はp型となる。本発明においては、活性層の上方での電流狭窄（電流ブロック）の観点から第一導電型がn型で、第二導電型がp型である構成の素子に好適に適用できる。

#### 【0026】

また、本発明においてレーザ共振器端面近傍領域とは、レーザ光が出射されるレーザ共振器端面の近傍の半導体基板及び半導体基板の上方に形成された各層を指し、レーザ共振器内部領域とは、前記レーザ共振器端面近傍領域以外の半導体基板及び半導体基板の上方に形成された各層を指しており、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長が、レーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長の大小はフォトルミネッセンス法（PL法）に基づいて比較される。

#### 【0027】

本発明の半導体レーザ素子においては、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にはAs原子が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下含まれるようにし、該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層でのAs原子濃度は、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層でのAs原子濃度より高濃度存在する構成を有している。

#### 【0028】

上記構成とすることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層を無秩序化する工程において、レーザ共振器端面近傍領域に比べて、レーザ共振器内部領域の活性層への第二導電性を有する不純物原子の拡散を抑制することができるので、高出力時の駆動電流が低減された半導体レーザ素子を得られる。

#### 【0029】

本発明の半導体レーザ素子では、前記レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層でのAs原子濃度が、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である構成が好ましい。

#### 【0030】

上記構成とすることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子の拡散促進が可能となり、且つ、フォトルミネッセンスのピーク波長が非常に大きいInGaAsP系MQW活性層への変質を阻止できるので、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層（窓

領域) のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層 (活性領域) のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さく出来る。その結果、レーザ光の波長に対する吸収領域がレーザ共振器端面近傍には形成されないので、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

#### 【0031】

本発明の半導体レーザ素子では、  
該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子が、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子である構成とすることが好ましい。第二導電性を有する不純物は、p 型の場合、Be, Zn, Mg 等の II 族原子、好ましくは Be 原子であり、n 型の場合、Si, Se 原子が使用可能である。

#### 【0032】

レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子が Be で、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子が Zn 及び Be の場合に、窓領域形成時に Zn 拡散させる場合等がある。上記構成とすることにより、該活性層への拡散制御を行う必要がある第二導電性を有する不純物原子が、1 種類だけとなるので、前記第二導電性を有する不純物原子のレーザ共振器内部領域の活性層への拡散抑制と、前記レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層 (窓領域) のフォトルミネッセンスのピーク波長の制御を行いやすくすることができる。その結果、高出力駆動における長期信頼性の向上と駆動電流の低電流化を行いやすくなっている。

#### 【0033】

本発明の半導体レーザ素子では、  
レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子は、P 原子の質量数より小さい質量数となる II 族原子であることが好ましい。II 族原子としては、Be、Mg、Zn、好ましくは Be である。

## 【0034】

P原子の質量数より小さい質量数となるII族原子の拡散定数は、AlGaInP系材料にAs原子を含ませることにより、飛躍的に拡散定数が大きくすることができ、上記構成とすることにより、ウエハへの加熱温度の低温化や加熱時間の短縮を行っても、レーザ共振器端面近傍領域の活性層の無秩序化が可能となり、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層（窓領域）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域）のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さく出来る。その結果、レーザ光の波長に対する吸収領域がレーザ共振器端面近傍には形成されない、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

## 【0035】

前記P原子の質量数より小さい質量数となるII族原子として、Be原子を適用すると、Be原子は、AlGaInP系材料での拡散定数が小さく、As原子が含まれるAlGaInP系材料での拡散定数が大きいので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層の無秩序化と同時に、Be原子のレーザ共振器内部領域の活性層への拡散抑制が可能となり、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

## 【0036】

本発明の半導体レーザ素子では、  
レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子濃度が、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることが好ましい。

## 【0037】

上記構成とすることにより、レーザ共振器端面近傍領域において、第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ十分拡散させることができ、且つ、レーザ共振器内部領域において、第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子の活性層への拡散を抑制することができるので、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。



## 【0038】

本発明の半導体レーザ素子では、  
レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層上方に、第二導電型のGaAsコンタクト層が配置されており、且つ、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層と第二導電型のGaAsコンタクト層の間に第二導電型のGaInP中間層が配置されている構成とすることが好ましい。

## 【0039】

上記構成とすることにより、レーザ共振器端面近傍領域における第二導電型の第二クラッド層と第二導電型のGaAsコンタクト層の間にバンドギャップエネルギー差が生じ、窓領域への電流注入を防ぎ、窓領域でのキャリア損失を抑えられ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得られる。

## 【0040】

本発明の半導体レーザ素子では、  
該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層の上方に、第一導電型のGaAs電流非注入層が配置されている構成とすることが好ましい。

## 【0041】

上記構成とすることにより、第一導電型のGaAs電流非注入層がレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層へのAs原子拡散源として働き、且つ、窓領域への電流注入を防ぎ、窓領域でのキャリア損失を抑えられ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得られる。

## 【0042】

本発明の半導体レーザ素子は、  
半導体基板上方に、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層を含む、AlGaInP系材料からなる積層構造を成長させる工程と、  
前記ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にAs

原子を拡散させる工程と、

該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程を経て製造される。

#### 【0043】

上記製造工程を経ることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層に、第二導電性を有する不純物原子を加速的に拡散させることができ、ウエハへの加熱温度の低温化や加熱時間の短縮が可能となる。その結果、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくでき、且つ、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層に存在する、第二導電性を有する不純物原子の活性層への拡散を抑制できるので、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

#### 【0044】

本発明の半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にAs原子を拡散させる工程は、該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs原子を照射する工程と、該ウエハを加熱する工程を含む。

#### 【0045】

上記構成を経ることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にAs原子を含有させることができ、ウエハへの加熱温度の低温化や加熱時間の短縮を行っても、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくできるので、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を製造することが可能となる。

#### 【0046】

本発明の半導体レーザ素子の製造方法においては、

ウエハを加熱する工程が、第一導電型の電流ブロック層を形成する工程によって兼ねられていてもよい。

#### 【0047】

上記製法を採ることにより、半導体レーザ素子のリッジの側面を第一導電型の電流ブロック層で埋め込むと同時に、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にAs原子を含有させることができるので、製造工程の簡略化が可能である。また、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくできるので、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を製造できる。

#### 【0048】

また、本発明の半導体レーザ素子の製造方法においては、ウエハを加熱する工程が、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層の上方に、第一導電型のGaAs電流非注入層を形成する工程で兼ねられていてもよい。

#### 【0049】

上記製法を採ることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層でのAs原子濃度を高濃度にすることができるので、更なるウエハへの加熱温度の低温化や加熱時間の短縮を行っても、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくでき、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を製造できる。

#### 【0050】

また、本発明の半導体レーザ素子の製造方法においては、ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程が、第二導電型のGaAsコンタクト層を形成する工程で兼ねられていてもよい。

## 【0051】

上記製法を採ることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）を、レーザ共振器端面近傍領域の活性層に拡散することができ、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくできるので、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を製造できる。

## 【0052】

また、本発明の半導体レーザ素子の製造方法においては、該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層に含まれる第二導電性を有する不純物原子を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくする工程は、分子線エピタキシー（MBE）法を用いることに行うことが好ましい。

## 【0053】

## 【発明の実施の形態】

## [第1の実施の形態]

図1は本発明の第1の実施の形態に関する半導体レーザ素子の構造の説明図である。図1において、図1（a）は光出射端面を含む斜視図、図1（b）は図1（a）のIa-Ia'線における導波路の断面図、図1（c）は図1（a）のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。また、101はn型GaAs基板、102はn型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P（y，zは0以上1以下；以下省略）バッファ層、103はn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P（x，y，zは0以上1以下；以下省略）第1クラッド層、104はバリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる活性層（MQW活性層）、105はp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層、106はp型エッチングストップ層、107は共振器方向にリッジストライプからなるp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層、108はp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層、109はリッジストライプからなる

p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第3クラッド層の側面を埋め込む様に形成されたn型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  ( $x, z$  は0以上1以下; 以下省略) 電流ブロック (狭窄) 層、110はp型  $\text{GaAs}$  コンタクト層、111はp側電極、112はn側電極である。

#### 【0054】

また、図1において、104Aはレーザ共振器内部のMQW活性層 (活性領域)、104Bはレーザ共振器端面近傍のMQW活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザ共振器内部のMQW活性層104Aのフォトルミネッセンスのピーク波長よりも小さい領域 (窓領域)、113はp型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層が除去された電流非注入領域、114はp型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第3クラッド層107、p型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層108からなるストライプ状のリッジである。なお、MQW活性層104は井戸層  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  ( $Y=0.51, Z=0.49$ ) (膜厚50 Å)、障壁層  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  ( $x=0.26, Y=0.25, Z=0.49$ ) (膜厚50 Å)、井戸層数4層の積層構成からなる。

#### 【0055】

次に製造方法について第2図に基づいて説明する。n型  $\text{GaAs}$  基板101 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 上に順次、分子線エピタキシー (MBE) 法にてn型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  バッファ層102 (キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) ( $Y=0.51, Z=0.49$ ) (膜厚約  $0.2 \mu\text{m}$ )、n型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第1クラッド層103 (キャリア濃度  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) ( $x=0.36, Y=0.15, Z=0.49$ ) (膜厚約  $2 \mu\text{m}$ )、MQW活性層104、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層105 ( $x=0.36, Y=0.15, Z=0.49$ ) (膜厚約  $0.2 \mu\text{m}$ )、p型エッチングストップ層106、p型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第3クラッド層107 (キャリア濃度  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) ( $x=0.36, Y=0.15, Z=0.49$ ) (膜厚  $1.2 \mu\text{m}$ )、p型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層108 (キャリア濃度  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) ( $Y=0.51, Z=0.49$ ) (膜厚約  $0.05 \mu\text{m}$ ) をエピタキシャル成長させる (第2図 (a))。この時、101~103の各層にはSi原子が、105~108の各層にはp型導電性を有するIII族原子であるBe原子が含まれている。

## 【0056】

次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、レーザ共振器内部領域のp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の表面に、リッジストライプと直交する方向に幅740μmのストライプ状のSiO<sub>2</sub>マスク115（膜厚約2000Å）を形成する（第2図（b））。前記SiO<sub>2</sub>マスク115は、レーザ共振器内部領域に、イオン化されたAs原子が照射されないために形成されたものである。

## 【0057】

その後、レーザ共振器端面近傍領域となるp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の表面に、イオン化されたAs原子の照射を行う。これにより、レーザ共振器端面近傍領域のウエハ表面近傍にAs原子の拡散源が形成される。

## 【0058】

次に、レーザ共振器内部領域のp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の表面に形成された、SiO<sub>2</sub>マスク115を除去し、その後、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の上に、レーザ共振器端面に垂直方向へ伸びたストライプ状のレジストマスク116を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層106に到達するように、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108とp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107を約3μm幅のストライプ状のリッジ114に加工する（第2図（c））。

## 【0059】

次に、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の上に形成されたストライプ状のレジストマスク116を除去し、その後、成長温度500℃、成長時間2時間の条件下で、2回目のMBE法によって、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108からなるリッジ114の側面をn型Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P電流ブロック層109で埋め込む。また、この時、As原子の拡散源が形成されたレーザ共振器端面近傍領域において、As原子をp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層105まで拡散させる。（第2図（d））

## 【0060】

上記ウエハのp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108からなるリッジ114内部のレーザ共振器端面近傍領域及び

レーザ共振器内部領域でのAs原子の深さ方向分布を2次イオン質量分析装置 (SIMS) で測定した。

#### 【0061】

結果を図3に示す。図3の縦軸はAs原子濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )、横軸はp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108からの深さ ( $\mu\text{m}$ ) である。また、図3において、破線がレーザ共振器内部領域、実線がレーザ共振器端面近傍領域におけるAs原子の深さ方向分布を示している。

#### 【0062】

図3から判るように、レーザ共振器端面近傍領域の105～108の各層にはAs原子が存在しており、且つ、レーザ共振器端面近傍領域の105～108の各層でのAs原子濃度は、レーザ共振器内部領域の105～108の各層に比べて高濃度になっている。

#### 【0063】

このことから、レーザ共振器端面近傍領域となるp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108の表面に、イオン化されたAs原子の照射を行い、その後、リッジ114の側面をn型Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P電流ブロック層109で埋め込む、2回目のMBE成長を行う、上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層105及びp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107にAs原子を拡散させることが可能であることが明らかである。

#### 【0064】

さらに、上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層105及びp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107でのAs原子濃度を、レーザ共振器内部領域でのAs原子濃度より高濃度にすることが可能であることが明らかである。

#### 【0065】

次に、上記2回目のMBE成長後のウエハの一部を、PL法にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層 (窓領域) 104Bとレーザ共振器内部領域のMQ

W活性層（活性領域）104Aのそれぞれの波長を測定した。その結果、この時点では、窓領域104Bからの発光スペクトルは、活性領域104Aからの発光スペクトルに対して波長シフトしていなかった。

#### 【0066】

その後、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、リッジ114の側面に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層109の表面にレジストマスクを形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク開口部のリッジ114上に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層109を選択的に除去する。

#### 【0067】

n型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層109上に形成されたレジストマスクを除去し、再度、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、レーザ共振器内部領域に幅 $740\mu\text{m}$ のレジストマスク118を形成し、レジストマスク118開口部のp型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層108を選択的に除去する（第2図（e））。

#### 【0068】

なお、レジストマスク118の開口部は、レーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）104Bの直上に位置するように形成されている。これにより、レーザ共振器端面近傍領域におけるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107とp型 $\text{GaAs}$ コンタクト層110の間でバンドギャップエネルギー差が生じ、電流非注入領域113が形成される。また、前記プロセスによって形成された電流非注入領域113が、窓領域104Bの直上になっているので、窓領域への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流が低減される。

#### 【0069】

その後、レーザ共振器内部領域に形成されたレジストマスク118を除去し、成長温度 $600^\circ\text{C}$ 、成長時間2時間の条件下で、3回目のMBE法によって、p型 $\text{GaAs}$ コンタクト層110を形成する（第2図（f））。

#### 【0070】

上記製造方法によって得られた本実施の形態の半導体レーザ素子のリッジ114内部のレーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域でのBe原子の深さ方向分布を図4に示す。



## 【0071】

図4に示されたBe原子の深さ方向分布は、2次イオン質量分析装置(SIMS)で測定した結果であり、図4の縦軸はBe原子濃度( $\text{cm}^{-3}$ )、横軸はp型 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{P}$ 中間層108からの深さ( $\mu\text{m}$ )である。また、図4において、破線がレーザ共振器内部領域、実線がレーザ共振器端面近傍領域におけるBe原子の深さ方向分布を示している。

## 【0072】

図4から判るように、レーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)へのBe原子の拡散は見られない。また、レーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層(窓領域)104Bには、105~108の各層から拡散させたBe原子が存在している。

## 【0073】

次に、上記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、3回目のMBE成長後のウエハの一部を、フォトルミネッセンス法(PL法)にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層(窓領域)104Bとレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)104Aのそれぞれの波長を測定した。

## 【0074】

その結果、本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いた場合、窓領域104Bからの発光スペクトルは、活性領域104Aからの発光スペクトルよりも40nm短波長側に波長シフトしていた。

## 【0075】

これは、レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105及びp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107に含まれる第二導電性を有する不純物原子が、P原子の質量数より小さい質量数となるII族原子であるので、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105及びp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107にAs原子を含ませることにより、P原子の質量数より小さい質量数となるII族原子の拡散定数を飛躍的に大きくすることができ、3回目のMBE成長時のウエハ加熱により、レーザ共

振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）104Bのフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）104Aのフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さく出来るのである。

#### 【0076】

上面にはp電極111、下面にはn電極112を形成する。

次に、 $60\mu\text{m}$ 幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ $800\mu\text{m}$ の共振器のレーザ共振器端面部に約 $30\mu\text{m}$ の窓領域及び電流非注入領域を有した半導体レーザ素子が作製される。

#### 【0077】

上記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

#### 【0078】

また、比較のために、上記の本実施の形態の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域に、Zn原子をn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第1クラッド層103の途中まで拡散させる、従来技術の半導体レーザ素子も同時に特性測定も同時に行った。

#### 【0079】

その結果、本実施の形態の半導体レーザ素子及び従来技術の半導体レーザ素子のCW50mWでの発振波長（ $\lambda$ ）は655nm、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電流（ $I_{op}$ ）は100mA、従来技術の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電流（ $I_{op}$ ）は130mAであった。

#### 【0080】

また、最大光出力試験の結果は、本実施の形態及び従来技術の半導体レーザ素子は300mW以上の光出力においてもCODフリーであった。これらを70℃50mWの信頼性試験を行ったところ、従来技術の半導体レーザ素子の平均寿命は1000時間であるのに対し、本実施の形態の半導体レーザ素子では約5000時間と平均寿命が向上した。

## 【0081】

以上より、本実施の形態の半導体レーザ素子では、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上が実現されていることが明らかである。

## 【0082】

レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層（p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107）にAs原子が含まれている、本実施の形態の半導体レーザ素子では、レーザ共振器内部領域の第二導電性を有する不純物原子（Be原子）が活性層へ拡散しないように、ウエハへの加熱温度（アニール温度）の低温化や加熱時間（アニール時間）の短縮を行っても、レーザ共振器端面近傍領域において、第二導電型の第二クラッド層105, 107に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）を加速的に拡散させることができるので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層の無秩序化が可能となり、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層（窓領域104B）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域104A）のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さく出来る。

## 【0083】

その結果、レーザ光の波長に対する吸収領域がレーザ共振器端面近傍には形成されないので、CODフリーである半導体レーザ素子を得られ、高出力駆動における長期信頼性の向上が可能となっている。

## 【0084】

また、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層（p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107）でのAs原子濃度が、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層105, 107でのAs原子濃度より高濃度存在する、本実施の形態の半導体レーザ素子では、レーザ共振器端面近傍領域の活性層を無秩序化する工程において、レーザ共振器端面近傍領域に比べて、レーザ共振器内部領域の活性層（活性領域104A）への第二導電性を有する不純物原子（Be原子）の拡散を抑制することができるので、高出力時の駆動電流の低電流化が可能となっている。

## 【0085】

また、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層（ $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第2クラッド層105,  $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第3クラッド層107）に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）が、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層（ $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第2クラッド層105,  $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第3クラッド層107）に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）である、本実施の形態の半導体レーザ素子では、該活性層104A, 104Bへの拡散制御を行う必要がある第二導電性を有する不純物原子が、1種類だけとなるので、前記第二導電性を有する不純物原子（Be原子）のレーザ共振器内部領域の活性層104Aへの拡散抑制と、前記レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層104Bのフォトルミネッセンスのピーク波長の制御を行いやすくすることができる。その結果、高出力駆動における長期信頼性の向上と駆動電流の低電流化を行いやすくなっている。

## 【0086】

本実施の形態の半導体レーザ素子では、レーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層（ $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第2クラッド層105,  $p$ 型  $Al_xGa_yIn_zP$  第3クラッド層107）に含まれる第二導電性を有する不純物原子として、 $AlGaInP$ 系材料での拡散定数が小さく、As原子が含まれる $AlGaInP$ 系材料での拡散定数大きい、P原子の質量数より小さい質量数となるII族原子であるBe原子を用いているので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層の無秩序化と同時に、Be原子のレーザ共振器内部領域の活性層への拡散抑制が可能となり、その結果、高出力時の駆動電流の低電流化が可能となっている。Be以外にも、Mgも使用できるが、活性層への拡散抑制の観点からBeが好ましい。

## 【0087】

本実施の形態では、レーザ共振器内部領域に、イオン化されたAs原子が照射されないように、 $SiO_2$ マスク115を形成しているが、 $Si_aNb$ ,  $Si_aOb$ ,  $N_c$ （ $a, b, c$ は1以上）等の誘電体膜であれば、上記と同様の効果が得られる。

## 【0088】

本実施の形態では、リッジ 114 内部のレーザ共振器端面近傍領域の  $p$  型  $Ga_yIn_zP$  中間層 108 を選択的に除去して形成された、電流非注入領域 113 としているが、リッジ 114 上に形成された  $n$  型  $Al_xIn_zP$  電流ブロック層 109 をレーザ共振器端面近傍領域のみ残しておく、製造方法によって得られる電流非注入領域を用いても、窓領域への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、上記と同様の効果が得られる。

#### 【0089】

##### [第2の実施の形態]

本実施の形態では、第1の実施の形態に記載の本発明の半導体レーザ素子における、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である  $p$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第2クラッド層 105 での  $As$  原子濃度と活性領域の波長に対する窓領域の波長シフト量の関係について検討する。

#### 【0090】

第1の実施の形態に記載の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である  $p$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第2クラッド層 105 での  $As$  原子濃度が、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  となるように、イオン化された  $As$  原子の照射量（ドーズ量）を変化させて、9枚のウエハのレーザ共振器端面近傍領域となる  $p$  型  $Ga_yIn_zP$  中間層 108 の表面に、前記9条件でのイオン化された  $As$  原子の照射を行った。

#### 【0091】

次に、公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いて、9枚のウエハの  $p$  型  $Ga_yIn_zP$  中間層 108 と  $p$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第3クラッド層 107 を約  $3 \mu\text{m}$  幅のストライプ状のリッジ 114 に加工する。

#### 【0092】

その後、前記9枚のウエハを、成長温度  $500^\circ\text{C}$ 、成長時間2時間の条件下で、2回目のMBE法によって、 $p$  型  $Al_xGa_yIn_zP$  第3クラッド層 107、 $p$  型  $Ga_yIn_zP$  中間層 108 からなるリッジ 114 の側面を  $n$  型  $Al_xI$

$n_z$  P 電流ブロック層 109 で埋め込んだ。また、この時、As 原子の拡散源が形成されたレーザ共振器端面近傍領域において、As 原子を p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 2 クラッド層 105 まで拡散させる。

#### 【0093】

上記 2 回目の MBE 成長後の 9 枚のウェハの一部を、PL 法にてレーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域）104B とレーザ共振器内部領域の MQW 活性層（活性領域）104A のそれぞれの波長を測定した。その結果、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 2 クラッド層 105 での As 原子濃度が  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下の範囲では、活性領域 104A からの発光スペクトルに対して波長シフトしていなかったが、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 2 クラッド層 105 での As 原子濃度が  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  となっているウェハでは、窓領域 104B からの発光スペクトルは、活性領域 104A からの発光スペクトルに対して、長波長側に波長シフトしていた。

#### 【0094】

その後、成長温度 600℃、成長時間 2 時間の条件下で、3 回目の MBE 法によって、p 型 GaAs コンタクト層 110 を形成した。

#### 【0095】

上記 3 回目の MBE 成長後の 9 枚のウェハの一部を用いて、PL 法にてレーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域）104B とレーザ共振器内部領域の MQW 活性層（活性領域）104A のそれぞれの波長を測定した。

#### 【0096】

前記レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 2 クラッド層 105 での As 原子濃度と活性領域の波長に対する窓領域の波長シフト量の関係を第 5 図に示す。この時の第二導電型の第二クラッド層である p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 2 クラッド層 105, p 型  $Al_xGa_yIn_z$  P 第 3 クラッド層 107 に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be 原子）濃度を  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  としており、また、活性領域の波長に対

して窓領域の波長は全て短波長側へシフトしていた。第5図の縦軸は活性領域の波長に対する窓領域の波長シフト量 (nm)、横軸は p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層 105 での As 原子濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ ) である。

#### 【0097】

第5図から判るように、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層 105 での As 原子濃度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下の範囲において、活性領域の波長に対して窓領域の波長が 30 nm 以上短波長側へシフトしていた。これは、 $\text{AlGaInP}$  系材料で形成されている半導体膜への As 原子の混入量の増加に伴い、P 原子より質量数が小さい II 族原子である Be 原子の拡散速度も速くなるのだが、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層 105 での As 原子濃度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下である場合、急激に II 族原子である Be 原子の拡散速度が低下することにより、II 族原子である Be 原子の拡散が促進されないので、Be 原子がレーザ共振器端面近傍領域の活性層 (窓領域) 104 B まで到達していないのである。また、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層 105 での As 原子濃度が  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以上である場合、レーザ共振器端面近傍の MQW 活性層 (窓領域) 104 B への As 原子の混入量が急激に増加するために、フォトルミネッセンスのピーク波長が非常に大きい  $\text{InGaAsP}$  系 MQW 活性層となるので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層 (窓領域) 104 B に Be 原子が十分に拡散して、前記活性層を無秩序化しても、レーザ共振器端面近傍領域の活性層 (窓領域 104 B) のフォトルミネッセンスのピーク波長はレーザ共振器内部領域の活性層 (活性領域 104 A) のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくならないである。

#### 【0098】

第1の実施の形態に記載の製造方法を用い、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層である p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第2クラッド層 105 での As 原子濃度が、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  となるように製造された、9 種類の半導体レーザ素子の最大光出力試験を行った

## 【0099】

その結果、活性領域の波長に対して窓領域の波長が30nm以上短波長側へシフトしていた、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲で製造された5種類の半導体レーザ素子では、300mW以上の光出力においてもCODフリーであったが、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下及び $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上となるように製造された、4種類の半導体レーザ素子では150mW以下の光出力において、共振器端面にてCODが発生した。

## 【0100】

このことから、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105でのAs原子濃度が、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲である、上記半導体レーザ素子にすることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域104B）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域104A）のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さくでき、CODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

## 【0101】

## [第3の実施の形態]

本実施の形態では、第1の実施の形態に記載の本発明の半導体レーザ素子における、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度について検討する。

## 【0102】

第1の実施の形態に記載の製造方法において、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度が、 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $2.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $7.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となるように、7枚のn型GaAs基板101上に



順次、MBE法にて102～108の各層を前記7条件でのエピタキシャル成長を行った。

#### 【0103】

次に、前記7枚のウエハのレーザ共振器内部領域に、イオン化されたAs原子が照射されないように、ストライプ状のSiO<sub>2</sub>マスク115を形成し、その後、レーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs原子の照射を行う。

#### 【0104】

次に、公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術を用いて、7枚のウエハのp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108とp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107を約3μm幅のストライプ状のリッジ114に加工する。

#### 【0105】

その後、前記7枚のウエハを、成長温度500℃、成長時間2時間の条件下で、2回目のMBE法によって、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層107、p型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層108からなるリッジ114の側面をn型Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P電流ブロック層109で埋め込んだ。また、この時、As原子の拡散源が形成されたレーザ共振器端面近傍領域において、As原子をp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層105まで拡散させる。

#### 【0106】

上記7枚のウエハの一部を、PL法にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）104Bとレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）104Aのそれぞれの波長を測定した。その結果、この時点では、窓領域104Bからの発光スペクトルは、活性領域104Aからの発光スペクトルに対して波長シフトしていなかった。

#### 【0107】

その後、上記7枚のウエハは、成長温度600℃、成長時間2時間の条件下で、3回目のMBE法によって、p型GaAsコンタクト層110を形成した。

#### 【0108】

上記3回目のMBE成長後の7枚のウエハの一部を用いて、PL法にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）104Bとレーザ共振器内部領域

のMQW活性層（活性領域）104Aのそれぞれの波長を測定した。

その結果、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である5種類のウエハにおいて、活性領域の波長に対して窓領域の波長が30nm以上短波長側へシフトしていた。

#### 【0109】

これは、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度が、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である場合、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域）104BにBe原子が十分に拡散して、前記活性層を無秩序化するので、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域104B）のフォトルミネッセンスのピーク波長はレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域104A）のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくなるのである。

#### 【0110】

第1の実施の形態に記載の製造方法を用いて、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度が、 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $2.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $7.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となっている、7種類の半導体レーザ素子の特性測定を行った。

#### 【0111】

その結果、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子（Be原子）濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である5種類の半導体レーザ素子において、CW50mWでの駆動電流（ $I_{op}$ ）が120mA以下であった。また、最大光出力試験を行ったところ、活性領域の波長に

対して窓領域の波長が30nm以上短波長側へシフトしていた、第二導電型の第二クラッド層105, 107での第二導電性を有する不純物原子(Be原子)濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である5種類の半導体レーザ素子では、300mW以上の光出力においてもCODフリーであった。

#### 【0112】

このことから、第二導電型の第二クラッド層であるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層105, p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層107での第二導電性を有する不純物原子(Be原子)濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、上記半導体レーザ素子にすることにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層(窓領域104B)への第二導電性を有する不純物原子(Be原子)拡散による無秩序化と、レーザ共振器内部領域の活性層(活性領域104A)への第二導電性を有する不純物原子(Be原子)の拡散抑制が両立することができるので、高出力時の駆動電流が低減され、長期信頼性に優れたCODフリーである半導体レーザ素子を得られる。

#### 【0113】

##### [第4の実施の形態]

図6は本発明の第4の実施の形態に関する半導体レーザ素子の構造の説明図である。図6において、(a)は光出射端面を含む斜視図、(b)は図6(a)のIa-Ia'線における導波路の断面図、(c)は図6(a)のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。また、201はn型GaAs基板、202はn型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (y, zは0以上1以下; 以下省略)バッファ層、203はn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (x, y, zは0以上1以下; 以下省略)第1クラッド層、204はバリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる活性層(MQW活性層)、205はp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層、206はp型エッチングストップ層、207は共振器方向にリッジストライプからなるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層、208はp型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層、209はリッジストライプからなるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層の側面を埋め込む様に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ (x, zは0以上1以下; 以下省略)電流ブロック(狭窄)層、210はn型G

a A s 電流非注入層、211はp型GaAsコンタクト層、212はp側電極、213はn側電極である。

#### 【0114】

図6において、204Aはレーザ共振器内部のMQW活性層（活性領域）、204Bはレーザ共振器端面近傍のMQW活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長がレーザ共振器内部のMQW活性層204Aのフォトルミネッセンスのピーク波長よりも小さい領域（窓領域）、214はp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層207、p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層208からなるストライプ状のリッジである。MQW活性層204は井戸層 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ （ $Y=0.51$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚50Å）、障壁層 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ （ $x=0.26$ ,  $Y=0.25$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚50Å）、井戸層数4層の積層構成からなる。

#### 【0115】

次に製造方法について第7図に基づいて説明する。n型GaAs基板201（キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）上に順次、分子線エピタキシー（MBE）法にてn型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ バッファ層202（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）（ $Y=0.51$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚約 $0.2 \mu\text{m}$ ）、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第1クラッド層203（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）（ $x=0.36$ ,  $Y=0.15$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚約 $2 \mu\text{m}$ ）、MQW活性層204、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層205（キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）（ $x=0.36$ ,  $Y=0.15$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚約 $0.2 \mu\text{m}$ ）、p型エッチングストップ層206、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層207（キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）（ $x=0.36$ ,  $Y=0.15$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚 $1.2 \mu\text{m}$ ）、p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層208（キャリア濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）（ $Y=0.51$ ,  $Z=0.49$ ）（膜厚約 $0.05 \mu\text{m}$ ）をエピタキシャル成長させる（第7図（a））。この時、201～203の各層にはSi原子が、205～208の各層にはp型導電性を有するIII族原子であるBe原子が含まれている。

#### 【0116】

その後、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間

層 208 の上に、レーザ共振器端面に垂直方向へ伸びたストライプ状のレジストマスクを形成し、公知のエッチング技術を用いて、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 と p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 3 クラッド層 207 を約  $3\mu\text{m}$  幅のストライプ状のリッジ 214 に加工する。

#### 【0117】

次に、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 の上に形成されたストライプ状のレジストマスクを除去する。その後、2 回目の MBE 法によって、p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 3 クラッド層 207、p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 からなるリッジ 214 の側面を n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 で埋め込む（第 7 図 (b)）。

#### 【0118】

その後、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、リッジ 214 の側面に形成された n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 の表面にレジストマスクを形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク開口部のリッジ 214 上に形成された n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 を選択的に除去する。

#### 【0119】

次に、n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 210 の上に形成されたレジストマスクを除去する。その後、公知のフォトリソグラフィ技術を用いて、レーザ共振器内部領域の p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 及び n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 の表面に、リッジストライプと直交する方向に幅  $740\mu\text{m}$  のストライプ状の  $\text{SiO}_2$  マスク 217 を形成し、その後、レーザ共振器端面近傍領域となる p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 及び n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 の表面に、イオン化された As 原子の照射を行う（第 7 図 (c)）。

#### 【0120】

次に、成長温度  $500^\circ\text{C}$ 、成長時間 1 時間の条件下で、3 回目の MBE 法によって、 $\text{SiO}_2$  マスク 217 で覆われていない、レーザ共振器端面近傍領域となる p 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  中間層 208 及び n 型  $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$  電流ブロック層 209 の表面に、n 型  $\text{GaAs}$  電流非注入層 210 を形成する（第 7 図 (d)）。こ

れにより、As 原子をレーザ共振器端面近傍領域に拡散させ、且つ、電流非注入層（領域）を同時に形成する。

#### 【0121】

上記ウエハのレーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域でのAs 原子の深さ方向分布を2次イオン質量分析装置（SIMS）で測定した。また、前記本実施の形態の製造方法において、レーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs 原子の照射を行わずに、レーザ共振器端面近傍領域にn型GaAs 電流非注入層210を形成した場合の比較用ウエハも同時に測定した。

#### 【0122】

その結果、本実施の形態の製造方法によって得られたウエハでは、レーザ共振器端面近傍領域の205～208の各層にはAs 原子が存在しており、且つ、レーザ共振器端面近傍領域の205～208の各層でのAs 原子濃度は、レーザ共振器内部領域の205～208の各層に比べて高濃度になっている。しかし、レーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs 原子の照射を行わない比較用ウエハでは、レーザ共振器端面近傍領域のp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層208にはAs 原子が存在しているが、レーザ共振器端面近傍領域の205～207の各層にはAs 原子は存在していなかった。

#### 【0123】

このことから、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層205及びp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層207にAs 原子を拡散させるには、少なくとも、該ウエハのレーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs 原子を照射する工程を少なくとも含むことが必要であることを明らかである。

#### 【0124】

上記製造方法を用いることにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第2クラッド層205及びp型Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P第3クラッド層207でのAs 原子濃度を、レーザ共振器内部領域でのAs 原子濃度より高濃度にすることが可能であることが明らかである。

## 【0125】

次に、上記3回目のMBE成長後のウエハの一部を、PL法にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）204Bとレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）204Aのそれぞれの波長を測定した。その結果、この時点では、窓領域204Bからの発光スペクトルは、活性領域204Aからの発光スペクトルに対して波長シフトしていなかった。

## 【0126】

その後、レーザ共振器内部領域のp型Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P中間層208及びn型Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P電流ブロック層209の表面に形成された、SiO<sub>2</sub>マスク217を除去し、次に、成長温度600℃、成長時間2時間の条件下で、4回目のMBE法によって、p型GaAsコンタクト層211を形成する（第7図（e））。

## 【0127】

上記製造方法によって得られた本実施の形態の半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域でのBe原子の深さ方向分布を2次イオン質量分析装置（SIMS）で測定した。

## 【0128】

その結果、レーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）へのBe原子の拡散は見られなかった。また、レーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）204Bには、205～208の各層から拡散させたBe原子が存在していた。

## 【0129】

次に、上記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、4回目のMBE成長（p型GaAsコンタクト層211の形成）後のウエハの一部を、PL法にてレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）204Bとレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）204Aのそれぞれの波長を測定した。また、比較として、上記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法において、3回目のMBE成長（n型GaAs電流非注入層210の形成）の代りに、基板温度500℃でのアニールを1時間行い、その後、p型GaAsコンタクト層211のMBE成長を行った、比較用ウエハの一部も、PL法にてレーザ共

振器端面近傍領域のMQW活性層（窓領域）とレーザ共振器内部領域のMQW活性層（活性領域）のそれぞれの波長を測定した。

#### 【0130】

その結果、n型GaAs電流非注入層210が形成されていない、比較用ウエハの場合、窓領域からの発光スペクトルは、活性領域からの発光スペクトルよりも20nm短波長側に波長シフトしており、n型GaAs電流非注入層210が形成されている、上記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いたウエハの場合、窓領域204Bからの発光スペクトルは、活性領域204Aからの発光スペクトルよりも40nm短波長側に波長シフトしていた。

#### 【0131】

これは、レーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs原子を照射し、その後、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第2クラッド層205及びp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層207の上方に、n型GaAs電流非注入層210を形成することにより、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第2クラッド層205及びp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層207でのAs原子濃度が高濃度となっていると考えられ、その結果、該第二導電型の第二クラッド層であるp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第2クラッド層205及びp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層207に含まれる第二導電性を有する不純物原子（Be原子）が加速的に拡散した結果である。

#### 【0132】

以上から、レーザ共振器端面近傍領域にイオン化されたAs原子を照射し、その後、レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層であるp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第2クラッド層205及びp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層207の上方に、n型GaAs電流非注入層210を形成することにより、レーザ共振器端面近傍領域の活性層（窓領域204B）のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域204A）のフォトルミネッセンスのピーク波長より十分小さく出来ることが明らかである。

#### 【0133】



次に、該ウエハ上面には p 電極 212、下面には n 電極 213 を形成し、その後、 $60\ \mu\text{m}$  幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さによりバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ  $800\ \mu\text{m}$  の共振器のレーザ共振器端面部に約  $30\ \mu\text{m}$  の窓領域及び電流非注入領域を有した半導体レーザ素子が作製される。上記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

#### 【0134】

また、比較のために、レーザ共振器端面近傍領域の p 型 GaInP 中間層を選択的に除去して電流非注入領域が形成される、第 1 の実施の形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子も同時に特性測定も同時に行った。

#### 【0135】

その結果、本実施の形態の半導体レーザ素子及び第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子の CW 50 mW での発振波長 ( $\lambda$ ) は  $655\ \text{nm}$ 、本実施の形態の半導体レーザ素子の CW 50 mW での駆動電流 ( $I_{\text{op}}$ ) は 90 mA、第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子の CW 50 mW での駆動電流 ( $I_{\text{op}}$ ) は 100 mA であった。

#### 【0136】

また、最大光出力試験の結果は、本実施の形態の半導体レーザ素子及び第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子は 300 mW 以上の光出力においても COD フリーであった。これらを  $70^\circ\text{C}$  50 mW の信頼性試験を行ったところ、第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子の平均寿命は 2000 時間であるのに対し、本実施の形態の半導体レーザ素子では約 3000 時間と平均寿命が向上した。このことにより、本実施の形態の半導体レーザ素子では、駆動電流の低電流化と長期信頼性の向上が実現されていることが明らかである。

#### 【0137】

本実施の形態の半導体レーザ素子では、イオン化された As 原子のウエハへの照射後から p 型 GaAs コンタクト層 211 の形成までに該半導体レーザ素子へ与える熱エネルギー（成長温度  $500^\circ\text{C}$ 、成長時間 1 時間の 3 回目の MBE 成長

と、成長温度 600℃、成長時間 2 時間の 4 回目の MBE 成長) が、第 1 の実施の形態の製造方法を用いた場合 (成長温度 500℃、成長時間 2 時間の 2 回目の MBE 成長と、成長温度 600℃、成長時間 2 時間の 3 回目の MBE 成長) に比べて、低減されているため、レーザ共振器内部領域の第二導電型の第二クラッド層 205, 207 に含まれる第二導電性を有する不純物原子 (Be 原子) のレーザ共振器内部領域の活性層 (活性領域 204A) への拡散が更に抑制された結果、駆動電流の低電流化が実現されている。また、前記駆動電流の低電流化により、高出力駆動時における該半導体レーザ素子の素子温度の上昇を抑制することができるので、高出力駆動における長期信頼性の向上が可能となっている。

#### 【0138】

本実施の形態では、レーザ共振器内部領域に、イオン化された As 原子が照射されないように、SiO<sub>2</sub> マスク 217 を形成しているが、Si<sub>a</sub>N<sub>b</sub>, Si<sub>a</sub>O<sub>b</sub>N<sub>c</sub> (a, b, c は 1 以上) 等の誘電体膜であれば、上記と同様の効果が得られる。

#### 【0139】

本実施の形態では、レーザ共振器端面近傍領域となる p 型 Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P 中間層 208 及び n 型 Al<sub>x</sub>In<sub>z</sub>P 電流ブロック層 209 の表面に、n 型 GaAs 電流非注入層 210 を形成しているが、リッジ 214 内部のレーザ共振器端面近傍領域の p 型 Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>P 中間層 208 を選択的に除去して、その後、n 型 GaAs 電流非注入層 210 を形成した場合でも、窓領域への電流注入を防ぎ、発光に寄与しない無効電流が低減されるので、上記と同様の効果が得られる。

#### 【0140】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、レーザ共振器端面近傍領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長をレーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくすることができ、高出力駆動における長期信頼性に優れた、COD フリーである半導体レーザ素子 (AlGaInP 系) とすることができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1a】 本発明の第 1 の実施の形態に関する半導体レーザ素子構造の光出射端面を含む斜視図。

【図 1 b】 図 1 a の I a - I a' 線における導波路の断面図。

【図 1 c】 図 1 a の I b - I b' 線における層厚方向の断面図。

【図 2 a】 ~ 【図 2 f】 本発明の第 1 の実施の形態に関する半導体レーザ素子の製造方法の説明図。

【図 3】 本発明の第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域での A s 原子の深さ方向の分布を示す図。

【図 4】 本発明の第 1 の実施の形態の半導体レーザ素子のリッジ内部のレーザ共振器端面近傍領域及びレーザ共振器内部領域での B e 原子の深さ方向の分布を示す図。

【図 5】 本発明の第 2 の実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法における、レーザ共振器端面近傍領域の p 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 2 クラッド層 105 での A s 原子濃度と活性領域の波長に対する窓領域の波長シフト量の関係を示す図。

【図 6 a】 本発明の第 4 の実施の形態に関する半導体レーザ素子構造の光出射端面を含む斜視図。

【図 6 b】 図 6 a の I a - I a' 線における導波路の断面図。

【図 6 c】 図 6 a の I b - I b' 線における層厚方向の断面図。

【図 7 a】 ~ 【図 7 e】 本発明の第 4 の実施の形態に関する半導体レーザ素子の製造方法の説明図。

【図 8 a】 ~ 【図 8 b】 従来技術の半導体レーザ素子の構造を示す模式的断面図。

【図 9 a】 ~ 【図 9 d】 従来技術の半導体レーザ素子の製造方法の説明図。

#### 【符号の説明】

101, 201, 1001...n 型 GaAs 基板

102, 202...n 型  $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  バッファ層

103, 203...n 型  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$  第 1 クラッド層

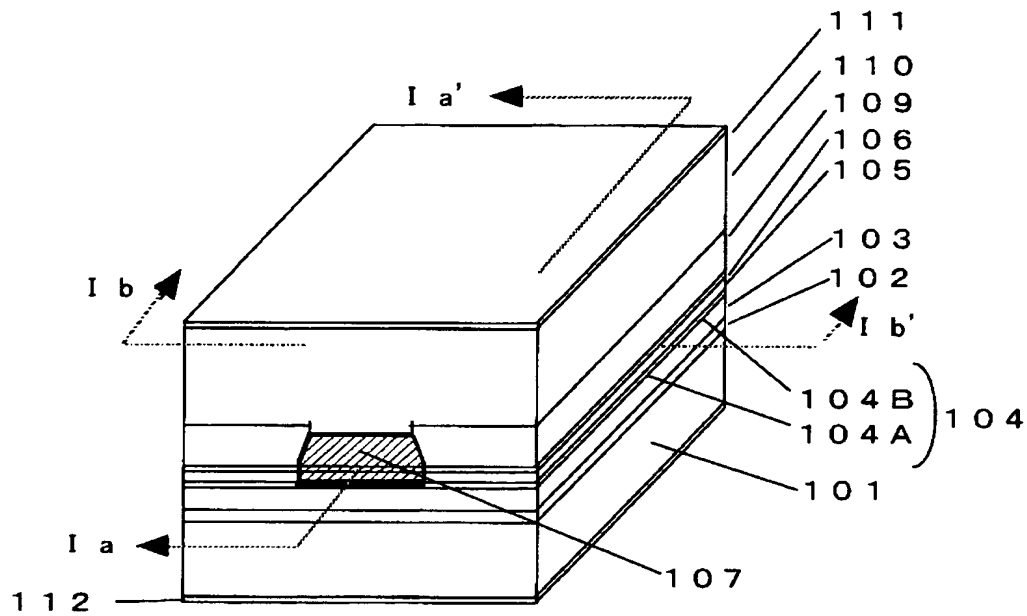
104, 204...MQW 活性層

104A, 204A...活性領域

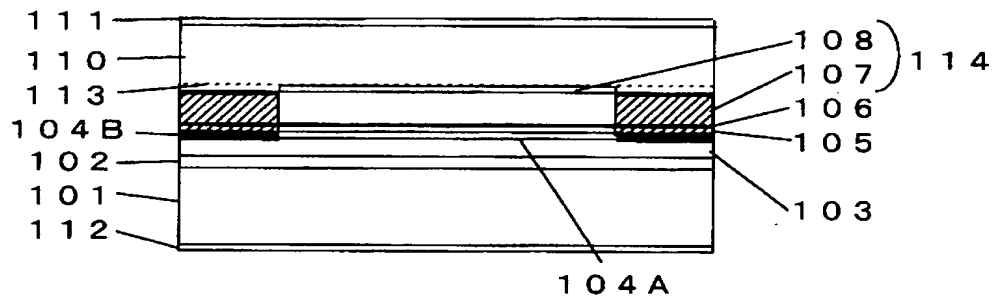
104B, 204B…窓領域  
105, 205…p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層  
106, 206…p型エッチングストップ層  
107, 207…p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層  
108, 208…p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層  
109, 209…n型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層  
110, 211, 1009…p型GaAsコンタクト層  
111, 212, 1011…p側電極  
112, 213, 1012…n側電極  
114, 214…ストライプ状のリッジ  
115, 217… $\text{SiO}_2$ マスク  
116, 118…レジストマスク  
210…n型GaAs電流非注入層  
1002…n型GaAsバッファ層  
1003…n型 $\text{AlGaInP}$ クラッド層  
1004…アンドープGaInP活性層  
1005…p型 $\text{AlGaInP}$ インナークラッド層  
1006…p型 $\text{AlGaInP}$ アウトークラッド層  
1007…p型GaAsキャップ層  
1008…n型GaAsブロック層  
1013…誘電体膜  
1014…レジストストライプマスク

【書類名】 図面

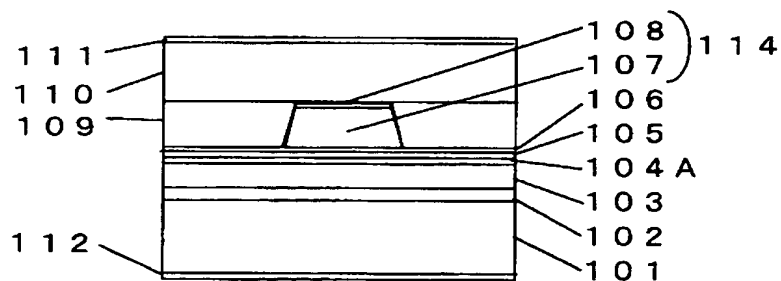
【図 1 a】



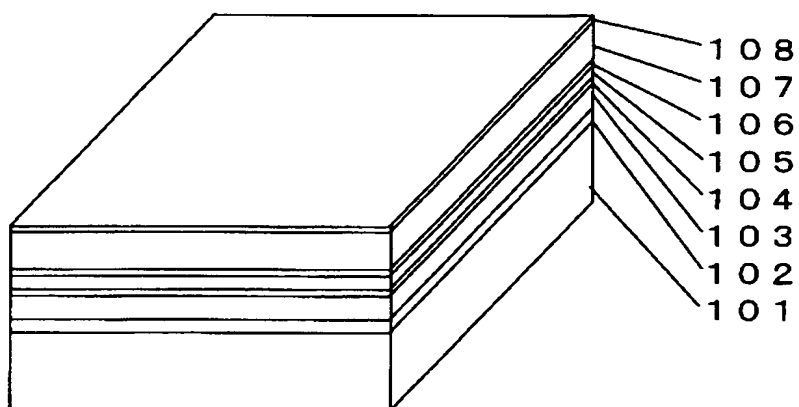
【図 1 b】



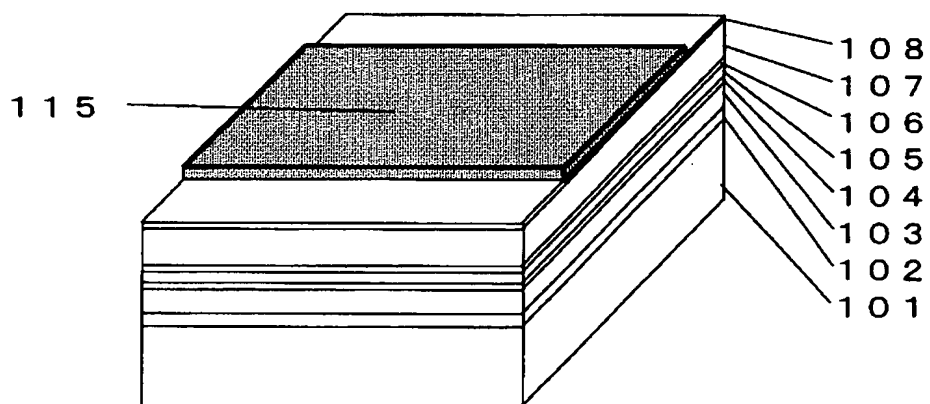
【図 1 c】



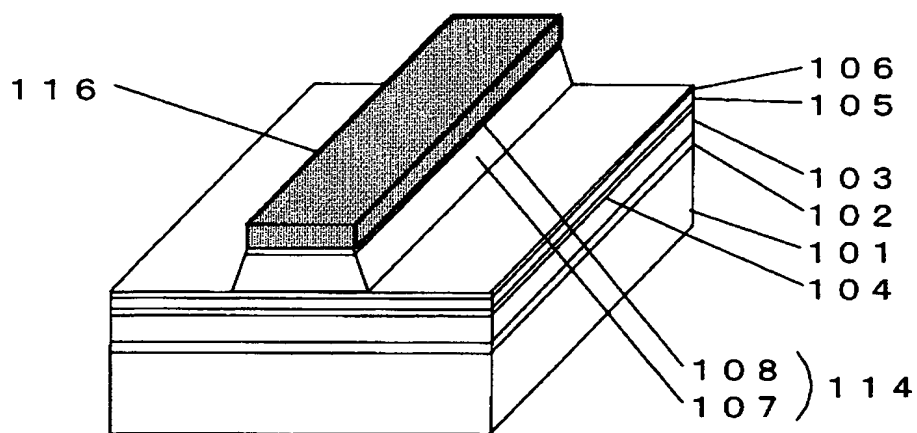
【図 2 a】



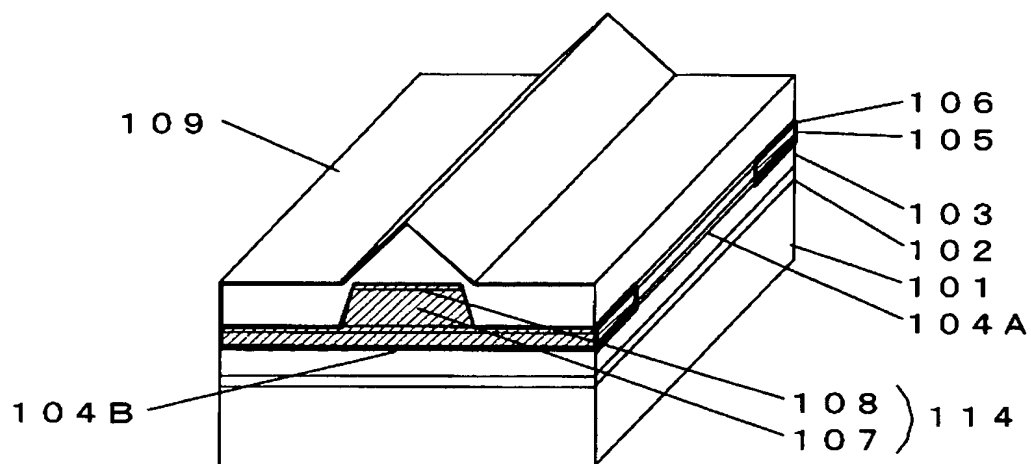
【図 2 b】



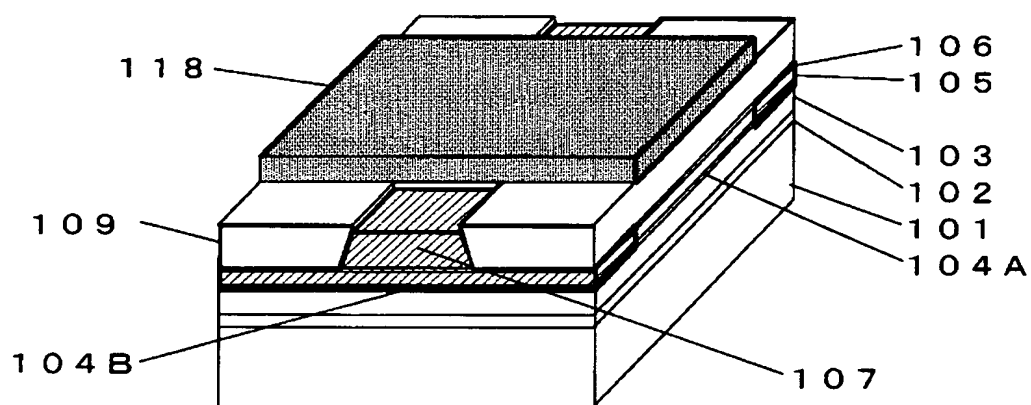
【図 2 c】



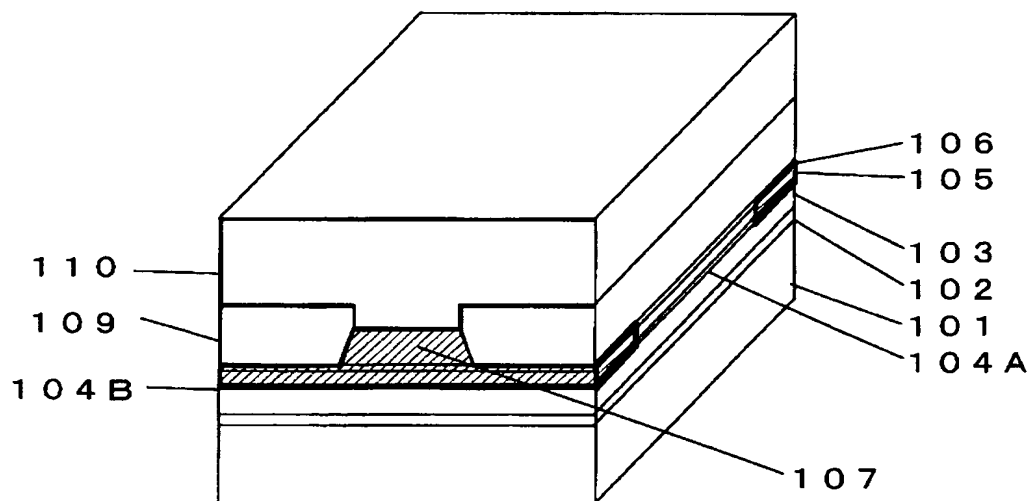
【図 2 d】



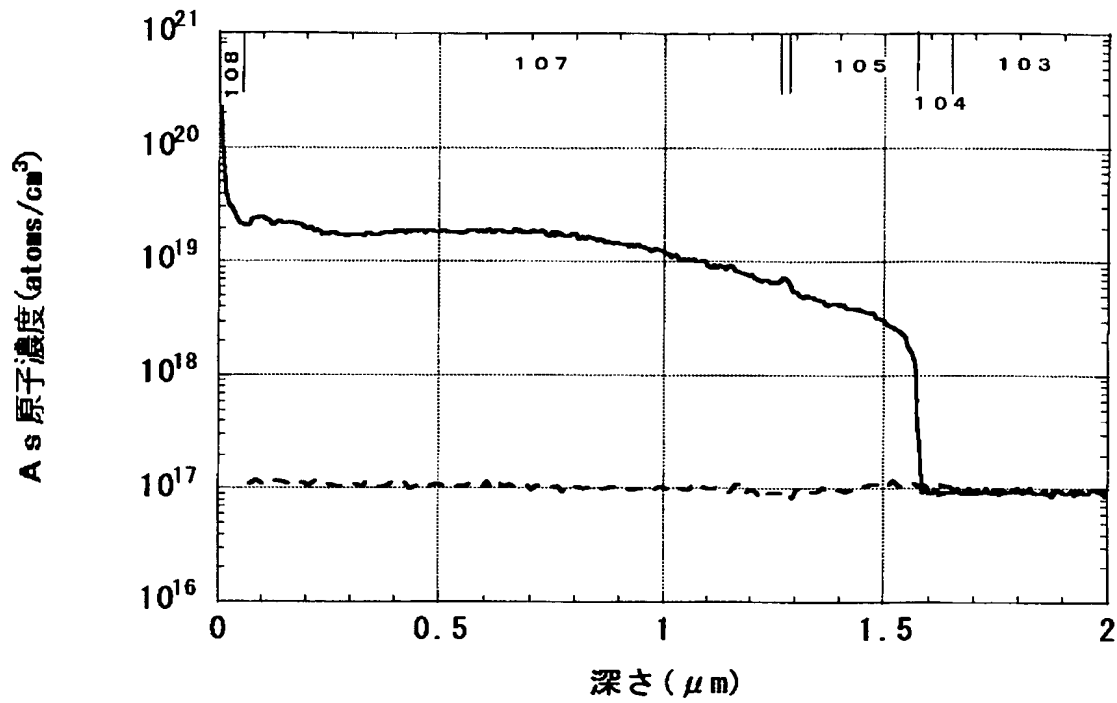
【図 2 e】



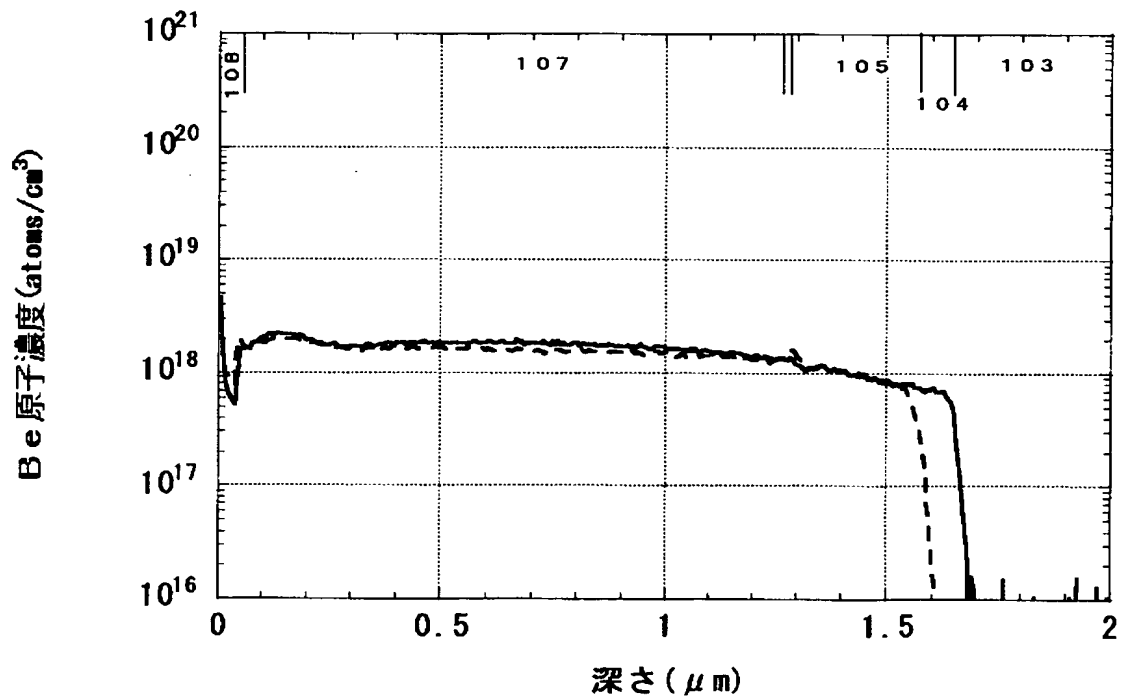
【図 2 f】



【図 3】

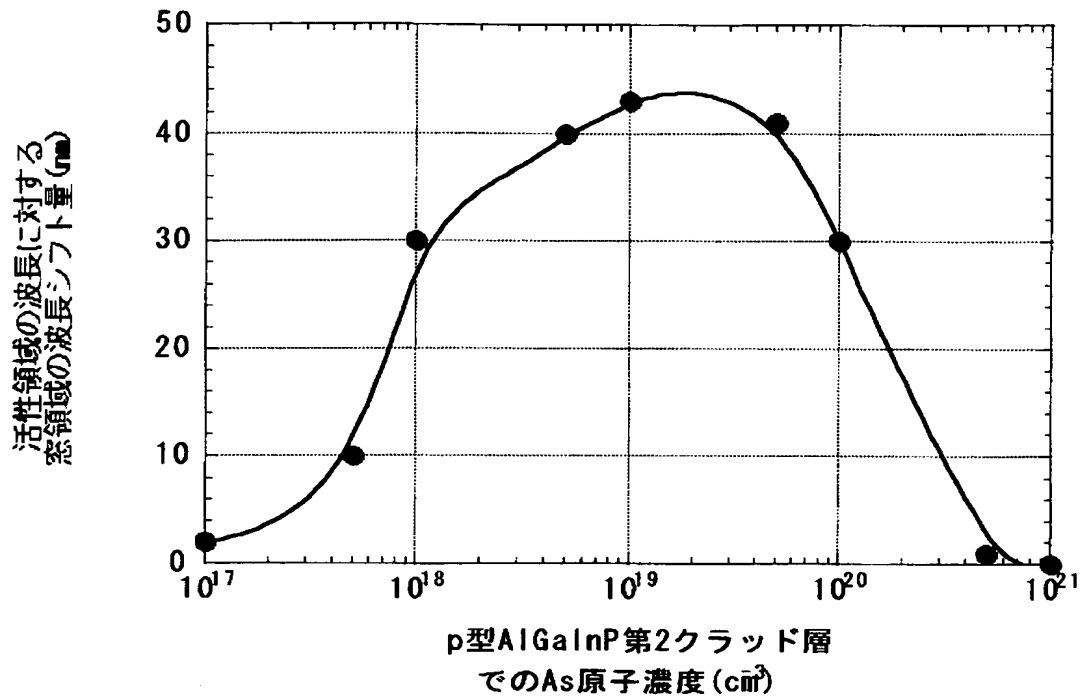


【図 4】

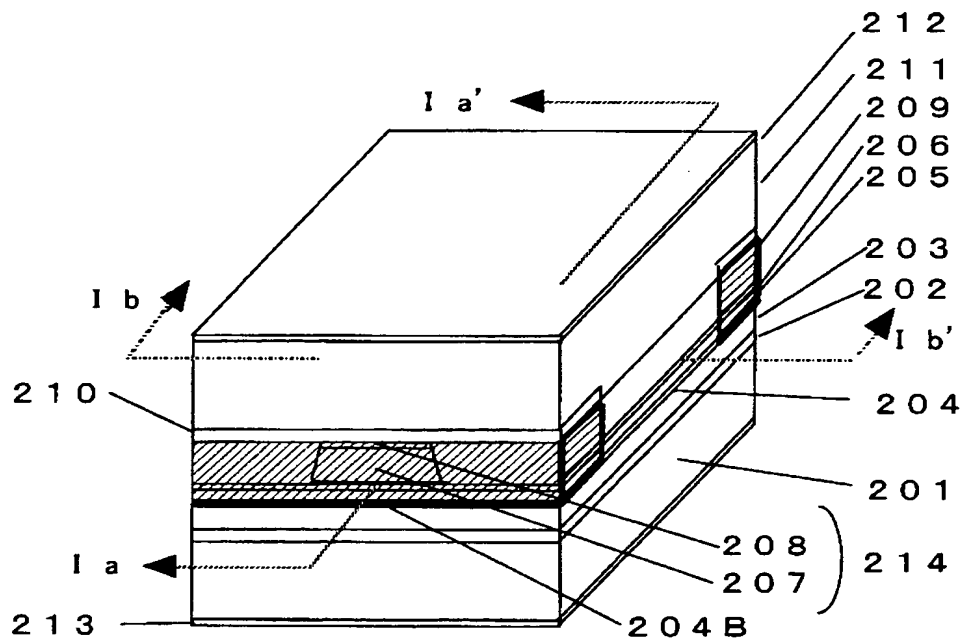




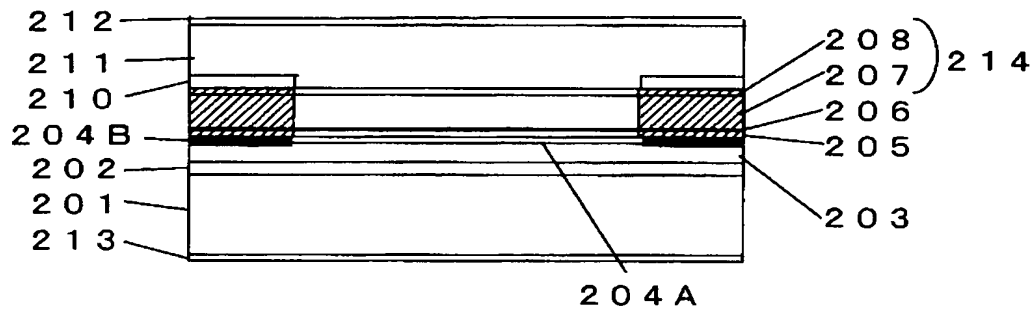
【図 5】



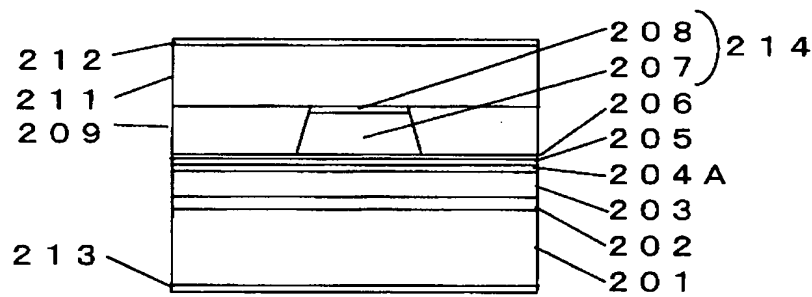
【図 6 a】



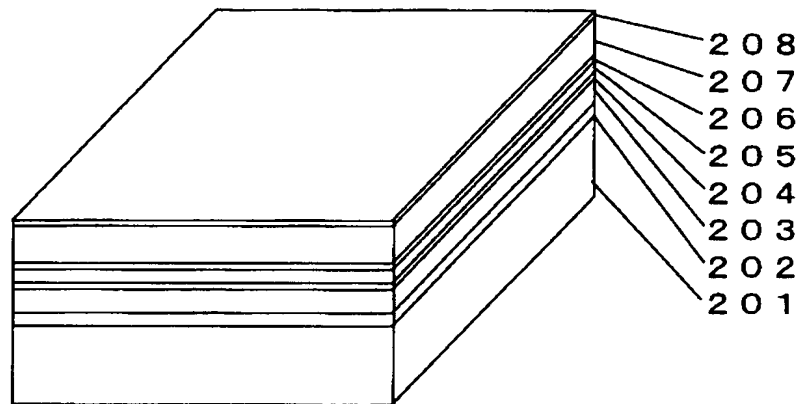
【図 6 b】



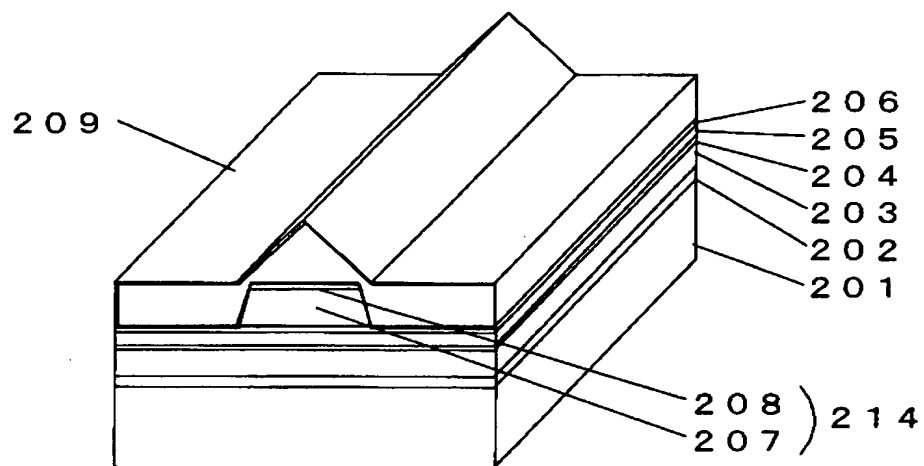
【図 6 c】



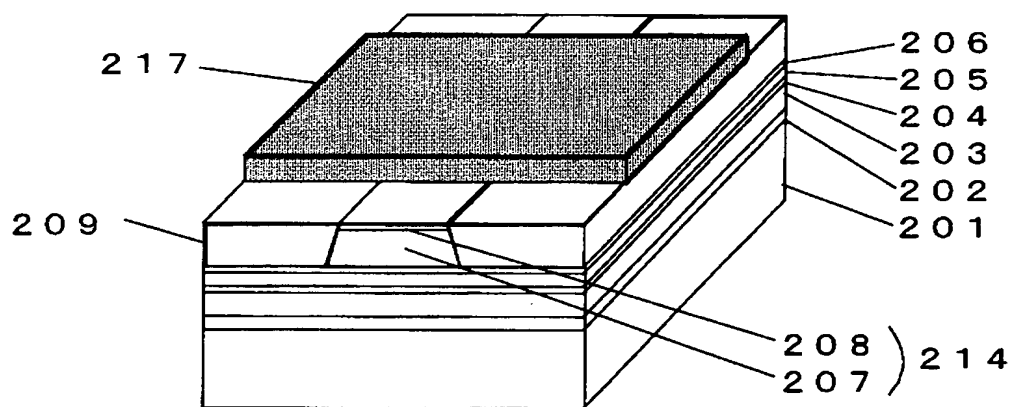
【図 7 a】



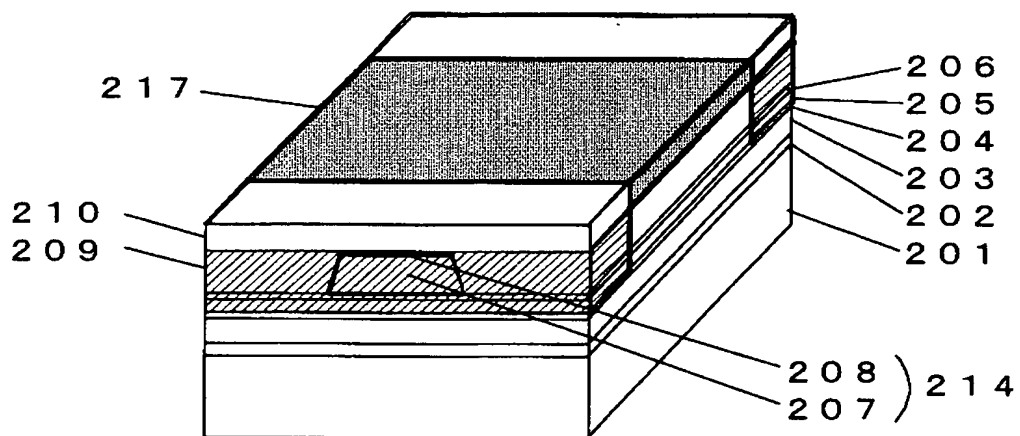
【図 7 b】



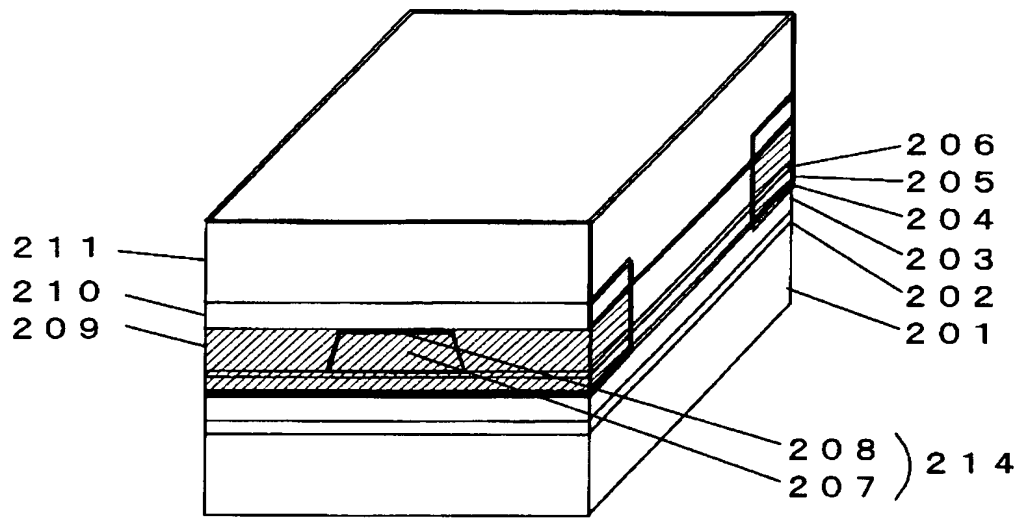
【図 7 c】



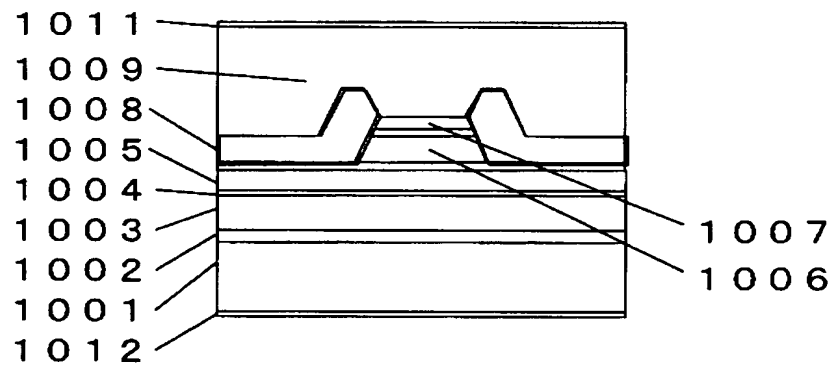
【図 7 d】



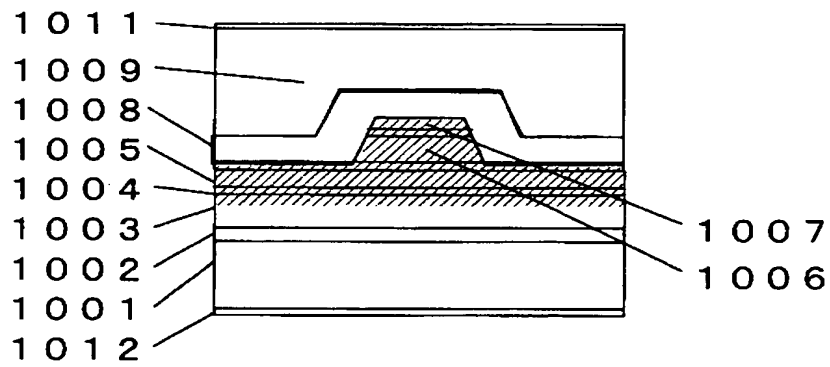
【図 7 e】



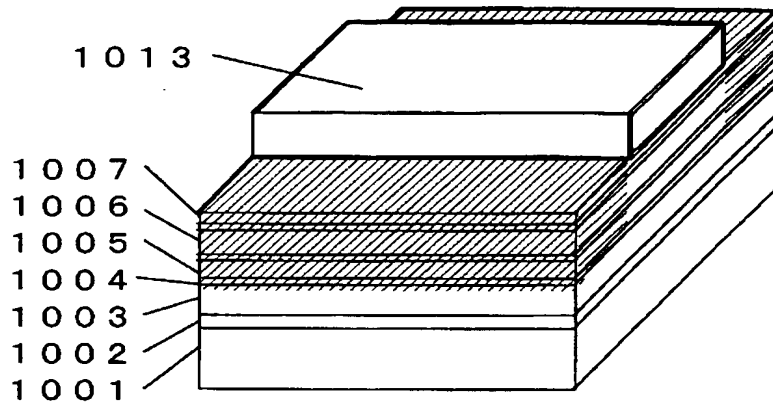
【図 8 a】



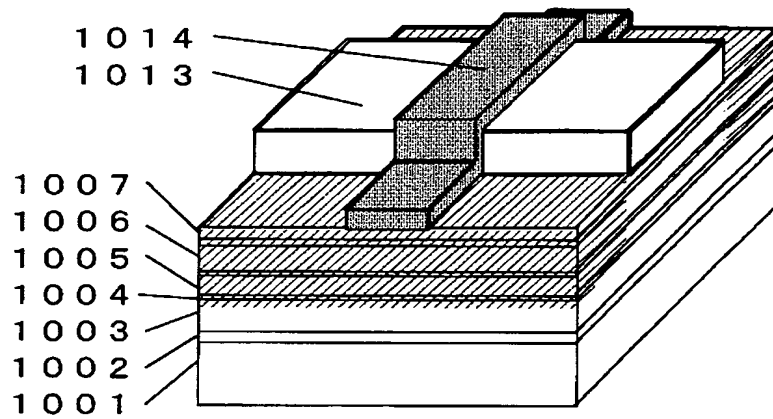
【図 8 b】



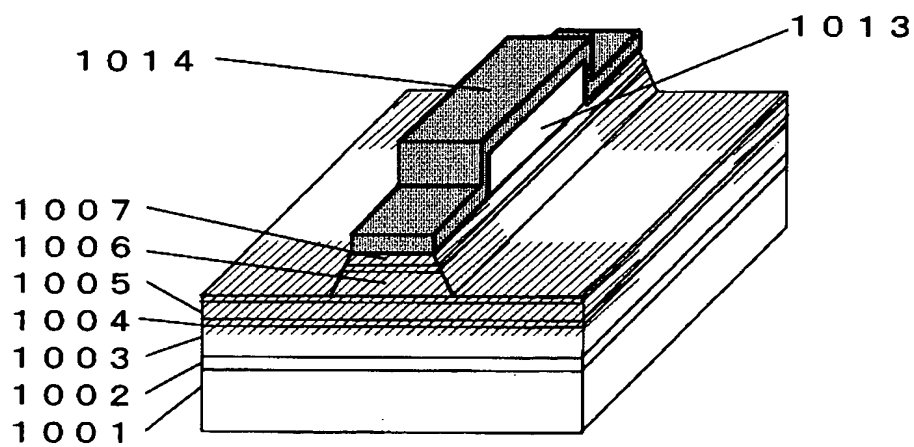
【図 9 a】



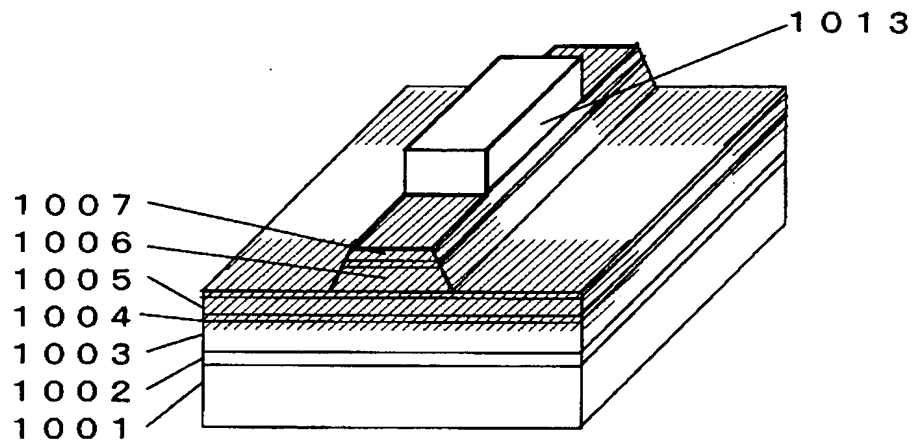
【図 9 b】



【図 9 c】



【図 9 d】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子（AlGaInP系）およびその製造方法を提供すること。

【解決手段】 半導体基板上方に、第一導電型の第一クラッド層、活性層、第二導電型の第二クラッド層を有し、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長が、レーザ共振器内部領域の活性層のフォトルミネッセンスのピーク波長より小さくされている、AlGaInP系材料からなる半導体レーザ素子において、該レーザ共振器端面近傍領域の第二導電型の第二クラッド層にAs原子が含まれていることを特徴とする半導体レーザ素子およびその製造方法。

【選択図】

特願 2 0 0 3 - 0 4 9 1 1 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 0 4 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

氏 名

シャープ株式会社